جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره یازدهم، پاییز ۱۳۹۳

صص ۱۰۵-۹۳

تحلیل پایداری حمل‌ونقل شهر مشهد با استفاده از روش جاپای بوم‌شناختی

محمدرحیم رهنماــ دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

فهیمه عبادی نیا[1]ــ دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۵/٤

چکیده

این مقاله با هدف ارزیابی توان اکولوژیک منابع، برای مصارف حمل‌ونقل درون‌شهری شهر مشهد در قیاس با ظرفیت زیستی موجود، تلاش دارد تنگناها و محدودیت‌های حمل‌ونقل پایدار را مشخص کند. روش به کار گرفته‌شده در این پژوهش، «جاپای بوم‌شناختی[2]» است که رابطه بین «میزان مصرف و تولید ضایعات به‌وسیله انسان‌ها» و «تولید منابع و جذب ضایعات به‌وسیله طبیعت» را نشان می‌دهد. محاسبه جاپای بوم‌شناختی برای بخش حمل‌ونقل در مشهد نشان داد که این شهر با مصرف بیش از ۳۵ میلیون گیگاژول انرژی در سال برای برطرف ساختن نیاز به سوخت مصرفی در حمل‌ونقل، رقمی معادل ٤۹۷۵۵٤ تن کربن تولید می‌کند و معادل سرانه بوم‌شناختی آن به ازای هر ۱۰۰ گیگاژول در یک هکتار ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد است؛ یعنی در حال حاضر (سال ۱۳۹۱) جمعیت ۳ میلیون نفری مشهد ۳۵۹۳٤۱٫۸۲ هکتار زمین بوم‌شناختی برای مصرف کنونی انرژی در بخش حمل‌ونقل استفاده می‌کنند. این رقم حدود ۱۰ برابر بیش از وسعت کلان‌شهر مشهد است؛ بنابراین به‌کارگیری راهکارهایی برای کاهش جاپای بوم‌شناختی و وسعت اراضی پشتیبان از جمله تقویت گزینه‌های حمل‌ونقل عمومی ضروری است.

کلیدواژه‌ها: جاپای بوم‌شناختی، حمل‌ونقل پایدار، مصرف انرژی، کلان‌شهر مشهد.

۱. مقدمه

توسعه پایدار حمل‌ونقل، جزئی از مفهوم گسترده‌تری است که در درون مرزهای توسعه پایدار تعریف می‌شود و به معنای حفظ و بهبود کیفیت زندگی انسانی و تنوع فرصت‌های اجتماعی برای تحرک و تردد بشر، در چهارچوب محدودیت‌ها و تنگناهای اکوسیستم جهانی است" (براون[3] و دیگران،۲۰۰۸: ۳۱۵). ازاین‌رو

۱ نویسنده مسئول:۰۹۱۵۵۲۳۸٤۰۷

Email: Ebadinia@um.ac.ir

2 Ecological Footprint

3 Browne

سیستم پایدار حمل‌ونقل باید به بهبود زندگی و رفع نیازهای حرکتی انسان با تأکید بر حفظ منابع طبیعی برای نسل‌های آینده، از طریق جایگزین کردن منابع تجدیدپذیر، حفظ و نگهداری از تنوع زیستی، کاهش انتشار کربن و حمایت از دانش آگاهانه اقتصادی در بحث حمل‌ونقل بینجامد (گودمنسون و هوجر[1]،۱۹۹٦: ۲٦۹). بر اساس تعریف سازمان توسعه و همکاری‌هایی اقتصادی[2] (۲۰۰٤) " حمل‌ونقلی پایدار است که بدون آسیب رساندن به‌سلامتی عمومی یا اکوسیستم‌های طبیعی و با استفاده از منابع تجدید پذیر و با نرخی کمتر از نرخ احیاء مجدد آن و استفاده از منابع تجدید ناپذیر به میزانی کمتر از توسعه منابع تجدید پذیر بتواند به برطرف کردن نیازهای دسترسی بپردازد. در سال‌های اخیر برنامه‌های راهسازی و بهسازی که در جهت تأمین زیرساخت‌ها و زیربناهای لازم برای حمل‌ونقل و ارائه ظرفیت معبری کافی برای حمل حجم‌هایی از ترافیک به اجرا درآمده، آسیب‌های محیط‌زیستی قابل‌توجهی را باعث شده است. از جمله می‌توان به از دست رفتن زیست‌گاه‌ها یا تنوع زیستی[3] و نابودی‌های گسترده اکولوژیک و همچنین آسیب به بناهای تاریخی و ویژگی‌های باستان‌شناسانه اشاره کرد (موتین، ۲۰۰۵: ۸۱). سهم هر یک از بخش‌های مصرف انرژی در انتشار آلاینده‌ها نشانگر این است که بخش حمل‌ونقل با تولید ٦٤/۷ درصد از کل انتشار NOX و ٤٤/۷ درصد از SO_2، ۲۷/۵ درصد از CO_2، ٤۰/۵ درصد از SO_3، ۹۸/۸ درصد از CO، ۹٦/۸ درصد از HC و ۷۹/٤ درصد از ذرات معلق، دارای بیشترین میزان انتشار انواع گازها در میان سایر بخش‌های مصرف‌کننده انرژی کشور است و به‌طور متوسط سهم حمل‌ونقل در انتشار گازهای فوق ۸۱ درصد است (فروزنده،۱۳۸۵: ٤۷). بخش حمل‌ونقل مسئول حدوداً ۲۵ درصد از انتشار گازهایی است که در گرم سازی کره زمین در کشورهای صنعتی مشارکت می‌کند، اما فقط نیمی از این درصد در کشورهای درحال‌توسعه محاسبه می‌شود. درصورتی‌که به نظر می‌رسد این نسبت در سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی کشورها ثابت‌شده‌اند ولی هنوز پیشرفت کشورهای درحال‌توسعه در حمل‌ونقل موتوری افزایش می‌یابد. این افزایش عمدتاً در حمل‌ونقل موتوری در مناطق شهری متمرکز شده است (بانک جهانی،۲۰۰۲: ۱۰۳)؛ بنابراین آینده‌ای پایدار به رویکردی اساساً متفاوت نسبت به سیاست حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی و تغییرات ریشه‌ای، یا حتی ازاین‌رو به آن رو شدن گرایش‌های اخیر نیاز دارد (همان:۷۹). تعاریف و تحقیقاتی که روی جنبه‌های محدودی نظیر کارایی انرژی، حمل‌ونقل و غیره متمرکزشده‌اند، پاسخ‌های مطمئنی به مسئله شکل پایدارتر شهر از نظر کارایی در مصرف انرژی، مقرون‌به‌صرفه بودن حمل‌ونقل عمومی و تسهیلات و خدمات شهری نداده‌اند؛ بنابراین هر استراتژی برای دستیابی به شکل پایدار شهر به‌واسطه بخش حمل‌ونقل، نیاز دارد در مفهوم

1 Gudmundsson and Hojer
2 Organisation for Economic and Development
3 Biodiversity

گسترده‌تر دیده شود. در این راستا مهم‌ترین هدف این مقاله ارزیابی توان اکولوژیک منابع، برای مصارف حمل‌ونقل درون‌شهری شهر مشهد در قیاس با ظرفیت زیستی موجود در این کلان‌شهر و ارائه راهبردها و الگوهای مناسب پایداری با استفاده از روش جاپای بوم‌شناختی است. مسئله اساسی این تحقیق این است که جاپای بوم‌شناختی مشهد در زمینه حمل‌ونقل را اندازه‌گیری کرده و به این سؤال پاسخ دهد که شکاف بین مصرف منابع برای مصارف حمل‌ونقل و توان اکولوژیک شهر برای جذب زائدات حاصل از آن به چه میزان است؟ با توجه به اینکه استفاده روزافزون از خودرو عامل ۷۰ درصد آلودگی هوای مشهد است به نظر می‌رسد بخش حمل‌ونقل جاپای بوم‌شناختی وسیعی به لحاظ مصرف سوخت و جذب آلاینده‌ها ایجاد کرده است به‌گونه‌ای که بسیار بیش از ظرفیت زیستی این شهر است.

۲. منطقه موردمطالعه

شهر مشهد دومین کلان‌شهر ایران دارای مساحتی معادل ۳۵۰ کیلومترمربع یا ۳۵۰۰۰ هکتار و جمعیتی برابر با ۳۰۰۹۲۹۵ نفر در سال ۱۳۹۱ برآورد شده است (آمارنامه شهر مشهد،۱۳۹۱ :۱٤). بر طبق آمار ارائه شده روزانه بیش از ۸۰۰ هزار دستگاه خودرو در شهر مشهد تردد می‌کند و سالانه حدود ٤۰ هزار خودرو به شبکه معابر شهری وارد می‌شود (آمارنامه شهرداری، ۱۳۹۱: ٦۷). مشهد در سال ۱۳۹۱ دارای ٦۹٤ کیلومتر معبر درون‌شهری بوده است که از این میزان، ۱۰۰ کیلومتر بزرگراه و اتوبان داخل محدوده شهر به همراه رمپ و لوپ‌های دسترسی به آن‌ها،۱۳٤ کیلومتر طول معابر شریانی درجه یک،۲٤٤ کیلومتر طول معابر شریانی درجه دو و ۲۱۷ کیلومتر طول معابر جمع و پخش‌کننده و محلی برآورد شده است (هشتمین آمارنامه حمل‌ونقل شهر مشهد،۱۳۹۱: ۲۲). روزانه ٤ میلیون و ۲۰۰ هزار سفر درون‌شهری انجام می‌شود که در آن، یک میلیون و ۲۰۰ هزار نفر جابجا می‌شوند. طبق آمار، تعداد سفرهای ساکنین شهر مشهد در یک شبانه‌روز از ٤۰۳۵٥٦۰ سفر در سال ۱۳۸۵ به ٥۸۷٦۳۱۳ سفر در سال ۱۳۹۰ افزایش پیدا کرده است؛ یعنی رشدی معادل ۳۲ درصد داشته است. همچنین ضریب ساعات اوج سفرهای روزانه از ۵/۱۱٪ به ۱۰/۹٤٪ یعنی بیش از دو برابر شده است. سرانه مالکیت خودرو نیز در مشهد در مدت ۱۰ سال میانگین نرخ رشدی برابر با ٤۷ درصد داشته است به‌گونه‌ای که سرانه مالکیت خودرو از ۵۹ در ۱۰۰۰ در سال ۷۵ به ۱۲۵ در ۱۰۰۰ در سال ۸۵ و ۲۲۳ در ۱۰۰۰ در سال ۱۳۹۰ افزایش پیدا کرده است. (بهنگام سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل مشهد، ۱۳۷۸: ۹۹) افزایش استفاده از خودروهای شخصی در سفرهای شهری باعث افزایش ۵۱٪ مصرف بنزین و به‌تبع آن ٤۹٪ آلاینده Co منواکسید کربن شده است. این اعداد و ارقام بیانگر اثرات مخرب ماشینی شدن شهر و خسارات جبران‌ناپذیر بر محیط‌زیست شهری و سلامتی شهروندان است (سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، ۱۳۸٤: ۲۵).

۳. مواد و روش‌ها

جاپای بوم‌شناختی رویکردی است که به ارزیابی تأثیر انسان بر محیط می‌پردازد و نشان‌دهنده فضا و بار وارده بر طبیعت است. این رویکرد از دو دهه پیش توسط ویلیام ریز، زیست‌شناس و برنامه‌ریز منطقه‌ای در دانشگاه بریتیش کلمبیا کانادا (*UBC*)[1]، ابداع شده است که در آن میزان نیاز سالیانه یک کشور، یک شهر، یک محله یا یک خانواده بر اساس مقدار زمین یا دریای مولد (از نظر بوم‌شناختی) که با فناوری‌های موجود، تمامی نیازهای آن‌ها را به‌طور همیشگی تأمین کند، محاسبه می‌شود. (واکرناگل و ریس[2]،۱۹۹٦: ۲۵-۲٦). این برآورد نشان می‌دهد که به چه مقدار از سطح زمین و دریاهای دارای قدرت طبیعی، برای پاسخ به نیازهای حیاتی و سبک زندگی ساکنان آن‌ها نیاز است. ازاین‌رو جاپای بوم‌شناختی روشی است که مستقیماً مفهوم اکولوژیک از ظرفیت کشش[3] را در بر می‌گیرد (کی و استون[4]،۲۰۰۱: ۲). در حقیقت «ظرفیت حامل مصادره شده»[5] در دیگر نواحی کره زمین به‌وسیله «واحد سطح» مورد تحلیل قرار می‌گیرد و هر چه این سطح بزرگ‌تر باشد، تحمیل بیشتری بر محیط وارد می‌شود که این خود از امکان پایداری دیگر جهانیان می‌کاهد (کمبرز و کوین[6]،۲۰۰۱: ۱۵). *EF* ابزار مناسبی برای اندازه‌گیری پیشرفت جوامع به‌سوی پایداری است. در اینجا پایداری به معنای دستیابی به سطحی از رضایت از زندگی بدون کاهش ظرفیت باز تولید کره زمین است. با تجزیه‌وتحلیل جاپای بوم‌شناختی می‌توان وسعتی از زمین برای تأمین نیاز افراد و ساکنان در محدوده‌های مشخصی از زمین را برآورد نمود (ویلسون[7]،۲۰۰۵: ۸).

گستره‌ای از مطالعات در رابطه با روش‌های ارزیابی ظرفیت زیستی در دهه‌های ۱۹٦۰ و ۱۹۷۰ زمینه‌ای مناسب برای ابداع روش جاپای بوم‌شناختی فراهم آوردند؛ از جمله اقداماتی مانند سامانه سنجش جریان انرژی از طریق شبیه‌سازی توسط "هاوارد آدم و دیگران[8] *(۱۹۹٤)* ". توسعه مدل‌سازی پویای منابع جهانی توسط"جی رندرز[9] *(۱۹۹۲)*" و میزان حاصل خیزی اکوسیستم‌های جهان از طریق برنامه‌های بیولوژیکی بین‌المللی توسط "رابرت ویتاکر[10] (۱۹۷۵)" همچنین ارزیابی چرخه حیات از" آلبل[11] *(۱۹۹۰)*" و ارزیابی چرخه حیات انرژی توسط "هوفستر[12] *(۱۹۹۱)*"اشاره کرد. دراین‌بین، استفاده از جاپای بوم‌شناختی به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی آثار

1 University of British Columbia
2 Wackenagel and Rees
3 Carrying capacity
4 Chi and Stone
5 Appropriated Carrying Capacity
6 Chambers and Lewis
7 Wilson
8 Odum
9 Randers
10 Whittaker
11 Albel
12 Hofstetter

بوم‌شناختی شهری رهیافتی جدید است که با توجه به طبیعت جامع گرای آن و قابلیتش برای بیان تقاضای منابع، می‌توان گفت که داده‌های حاصل از ارزیابی این روش می‌توانند مرجع سایر داده‌ها قرار گیرند و شرایط را برای بحث در مورد تحمل‌پذیری شهرها و محاسبه و مقایسه گزینه‌های مختلف برای صرفه‌جویی فراهم آورد *(واکرناگل،۲۰۰۳: ۳۷)*.

جاپای بوم‌شناختی با «واحد سطح» اندازه‌گیری می‌شود. واحد سطح برابر است با حدود ۰/۳ هکتار از زمین‌های زراعی نسبت به میانگین جهانی، بهره‌وری همین واحد برابر است با حدود ۰/۶ هکتار از میانگین زمین‌های جنگلی یا ۲/۷ هکتار از میانگین اراضی مرتعی یا ۱۶/۳ هکتار دریا (ساحل)؛ بنابراین یک هکتار زمین کاملاً بارور نشان‌دهنده میزان بیشتری از واحد سطح نسبت به همان مقدار زمین نه‌چندان بارور است. روش واحد سطح مقیاس کاملی از جاپای بوم‌شناختی مناطق و کشورهای مختلف را بر حسب انواع کاربری اراضی، اراضی ساخته‌شده، ظرفیت‌های زیستی و کمبودهای بوم‌شناختی برآورد می‌کند. ازآنجاکه کره زمین از قلمروهای مشخص حاصلخیز زیستی (اراضی زراعی، جنگل، مراتع و شیلات) و همچنین اراضی ساخته‌شده تشکیل‌شده است، این قلمروها احیاکننده منابع زیست‌کره به شمار می‌آیند و کل «ظرفیت زیستی» کره زمین را تشکیل می‌دهند (فرنج[1]،۲۰۰۵: ۴۲۳). مجموع ظرفیت زیستی کره زمین در سال ۲۰۰۸ برابر ۱۲ میلیارد هکتار به عبارتی حدود ۱/۸ هکتار برای هر فرد در سطح جهانی بوده است درحالی‌که جاپای اکولوژیک انسان برابر با ۱۸/۲ میلیارد هکتار یا ۲/۷ هکتار برای هر فرد برآورد شده است. این بدین معناست که ۱/۵ سال طول می‌کشد تا کره زمین بتواند منابعی را که در مدت یک سال مصرف شده احیا نماید (گزارش سیاره زنده[2]،۲۰۱۲: ۳۸). در حال حاضر، مجموع نیاز انسان به زیست‌بوم بدین ترتیب است که مصرف فعلی او از منابع طبیعی و خدمات آن از ظرفیت بلند مدت زیست‌بوم فزونی یافته است. برای جذب دی‌اکسید کربن حاصل از سوخت فسیلی و تولید مجدد آن سه میلیون هکتار زمین باید به برآوردهای قبلی اضافه شود؛ بنابراین میزان فعلی فشار بر محیط‌زیست جهانی از نظر اقتصادی قابل ادامه دادن نیست (واکرناگل و ریس،۱۹۹۶: ۸۹-۹۰). روش پیشنهادی ویکرناگل و همکارش برای محاسبه جاپای بوم‌شناختی، استفاده از آمارهای مصرف و جمعیت است که بر اساس آن مصرف سالانه «میانگین فرد» در بخش‌های مختلف به دست می‌آید. وسعت لازم برای هر شخص را می‌توان با تقسیم درصد سرمایه مصرفی در سال، بر میانگین سالیانه تولید محصول برای هر بخش مصرفی محاسبه کرد. لازم به ذکر است اقلام مصرف به پنج مقوله جداگانه تقسیم می‌شود:۱- غذا، ۲-مسکن، ۳- حمل‌ونقل و رفت آمد، ٤- کالاهای مصرفی و ۵- خدمات. با توجه به اینکه در این مقاله جاپای اکولوژیک حمل‌ونقل هدف محاسبه قرارگرفته است. ازاین‌رو تعیین جاپای اکولوژیک حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و محاسبه توان بوم‌شناختی طبیعت برای جذب و دفع کربن نیز

1 Ferng
2 Living Planet Report

حائز اهمیت است. بر این اساس هر یک هکتار جنگل توان جذب ۱۰۰ گیگاژول انرژی برابر با ۱,۴۲ تن دی‌اکسید کربن در سال را دارد. برای محاسبه جاپای اکولوژیک در حمل‌ونقل مجموعه‌ای از فعالیت‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود که بر روی محیط تأثیر می‌گذارد که شامل: دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و متان حاصل از سوخت‌های فسیلی و کربن حاصل از حفظ و نگهداری از وسائط نقلیه، جاده‌ها و زیرساخت‌های حمل‌ونقل است (بارت[1] و همکاران،۲۰۰۱: ۷).

رابطه شماره (۱)*(aa)* : زمین لازم برای تأمین سرمایه سرانه برای تولید هرکدام از اقلام مصرفی *(i)*

$$aai=c_i/p_i$$

c_i: متوسط مصرف سالیانه آن کالا

P_i: تولید یا بازده سالیانه

رابطه شماره (۲)

$$ef=\sum aa_i$$

(ef) سرانه جاپای افراد که از محاسبه کل میزان مصرف فرد نسبت به زمین بوم‌شناختی لازم برای تأمین آن به دست می‌آید.

رابطه شماره (۳):

$$EF_p = N(ef)$$

(EF_p) جاپای بوم‌شناختی جمعیت موردمطالعه که از ضرب کردن *(ef)* یا همان سرانه جاپای افراد در کل جمعیت مورد نظر *(N)* به دست می‌آید (واکرناگل و ریس،۱۹۹۶: ۶۵-۶۷). همچنین رابطه زیر، فرمول کامل‌تری از محاسبه جاپای بوم‌شناختی است که در آن ضریب‌های معادل نیز با توجه به جدول ضرایب معادل و بازدهی زمین‌ها در نظر گرفته می‌شود.

$$\mathrm{EF} = N\,\mathrm{ef} = N\sum_{i=1}^{n} r_j(c_i/p_i)$$

I : مشخص‌کننده نوع کالای مورد نظر

Ci: مقدار مصرف سرانه هر کالا

Pi: بازدهی متوسط هر کالا

rj: ضریب معادل

N: تعداد جمعیت

ef: سرانه جاپای بوم‌شناختی

جدول ۱ ضریب‌های معادل و بازدهی منبع: واکرناگل و همکاران،۱۹۹۹ :۳۷۵-۳۹۰

عنوان	ضریب معادل	ضریب بازدهی

1 John Barrett

انرژی فسیلی	۱٫۱	۰
اراضی ساخته‌شده	۲٫۸	۱٫٦٦
اراضی مزروعی	۲٫۸	۱٫٦٦
مراتع	۰٫۵	۰٫۱۹
جنگل	۱٫۱	۰٫۹۱
مکان‌های پرورش ماهی	۰٫۲	۱
آب شیرین	۱	–

٤. بحث و نتایج

اولین گام برای محاسبه جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر مشهد در حوزه حمل‌ونقل، در دست داشتن میزان کاربری اراضی تخصیص‌یافته به هر یک از زیر حوزه‌های این بخش است. بر اساس داده‌های جدول فوق جابه‌جایی و حمل‌ونقل ۸۷۷۸۵٦۱٦ مترمربع از کل کاربری اراضی شهر مشهد و سرانه‌ای معادل ۰/۰۰۲۹ هکتار را به خود اختصاص داده است. زیر حوزه‌های حمل‌ونقل نیز بر اساس تقسیم‌بندی ویکرناگل (۲۰۰۳) به پنج دسته تقسیم شده است شامل:

۱- مسافرت با ماشین، موتورسیکلت و قایق
۲- مسافرت هوایی (اهالی شهر و مسافرت‌های تجاری)
۳- مسافرت با قطار و شبکه ریلی زیرزمینی
٤- مسافرت با اتوبوس (دیزل)
۵- سایر وسائط حمل‌ونقل

در جدول زیر، پنج زیر حوزه در قالب سه نوع جابه‌جایی زمینی، ریلی و هوایی گنجانده شد و عامل زیر ساخت در نظر گرفته‌شده است. زیر ساخت حمل‌ونقل شامل کلیه راه‌ها، تقاطع‌ها و جاده‌هایی است که هر سال آماده‌سازی شده و به‌صورت مستقیم در جابه‌جایی درون‌شهری نقش دارد؛ به‌علاوه کلیه فضاها و کاربری‌هایی مانند پارکینگ‌ها، پایانه‌ها، ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی، توقفگاه‌ها و تعمیرگاه‌ها ... که به‌صورت غیر مستقیم در حمل‌ونقل دخیل هستند، می‌باشد.

جدول ۲ سهم حمل‌ونقل از کاربری اراضی شهر مشهد منبع: تلفیق داده‌های آماری مأخوذ از سازمان‌های مرتبط با حمل‌ونقل و طرح‌های جامع و تفصیلی و محاسبات نگارندگان

کاربری	کاربری به مترمربع	کاربری به هکتار	سرانه زمین
حمل‌ونقل	۸۷۷۸۵٦۱٦	۸۷۷۸٫۵٦۱٦	۰٫۰۰۲۹۱۷
حمل‌ونقل زمینی	۸۰۵۰۰۰۰۰	۸۰۵۰	۰٫۰۰۲٦۷۵
شبکه ریلی	۱۸۲۰۰۰	۱۸٫۲	۰٫۰۰۰۰۰٦۰۷
حمل‌ونقل هوایی	۵٤۰۰۰۰۰	۵٤۰	۰٫۰۰۰۱۷۹٤
زیر ساخت	۱۷۰۳٦۱٦	۱۷۰٫۳٦۱٦	۰٫۰۰۰۰۵٦٦۱

در گام دوم، میزان مصرف هر یک از انواع انرژی و سوخت فسیلی که در مدت یک سال در بخش حمل‌ونقل به مصرف می‌رسد مشخص گردید و با توجه به ارزش حرارتی هرکدام، همگی به واحد یکسان تبدیل شد که در جدول زیر نشان داده شده است. بر اساس جدول زیر سهم بنزین در بین سایر حامل‌های انرژی بیش از ۲٤ میلیون گیگاژول است که به‌تنهایی ٦۹ درصد از انرژی مصرفی را شامل می‌شود.

جدول ۳ میزان انرژی مصرفی در بخش حمل‌ونقل (۱۳۹۱) منبع: محاسبات نگارندگان با استفاده از داده‌های شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی ایران- منطقه مشهد مقدس و شرکت بهره‌برداری قطار شهری مشهد

انواع انرژی مصرفی	بنزین (لیتر)	نفت گاز (لیتر)	*LPG*[1] (کیلوگرم)	*CNG*[2] (مترمکعب)	سوخت هواپیما (*ATK* و *JPF*)	برق (کیلووات ساعت)
میزان انرژی مصرفی	۷٦٦۲۹۲۰۰۰	۷۳۰۰۰۰۰۰	۸۱۲۵۰۰۰	۲۷٤٤۸۳۳۳۷	١٦۷١۹١۰۰۰	۱۱۹۳۹۱۵۰
ارزش حرارتی (کیلوکالری)	۷٦۳۳	۸٤۵۸	۱۰۸۸٦	۸۱۲٤	۸۱٤۳	۸٦۰
انرژی مصرفی (گیگاژول)	۲٤٤٦۰۹٦٤,۷۸	۲۵۸۲,۱۰	٦۳۷۷٤۵,۹۸	۹۳۲۵٤۵۲,۷۹	۵٦۹۳۵۲,٦٦	٤۲۹۳۹,۳۹
مجموع انرژی مصرفی (گیگاژول)	۳۵۰۳۹۰۳۷,۷					

روند محاسبه:

۱-میزان انرژی مصرفی مربوط به هر نوع سوخت ضرب‌در ارزش حرارتی آن

۲-تبدیل کیلوکالری به کالری

۳- تبدیل کالری به واحد ژول با ضرب‌در عدد ثابت ٤,۱۸۲

٤-تبدیل ژول به مگاژول (10^{-6}) وگیگاژول (10^{-9})

در دست داشتن مساحت و جمعیت شهر از جمله داده‌های پایه در محاسبه جاپای بوم‌شناختی است بر این اساس مساحت شهر مشهد معادل ۳۵۰ کیلومترمربع یا ۳۵۰۰۰ هکتار و جمعیتی آن برابر با ۳۰۰۹۲۹۵ نفر در سال ۱۳۹۱ است که با احتساب سالانه ۲۰ میلیون مسافر وارد شده به شهر، با میانگین مدت اقامت ۲/۳ روز، تعداد ۱۲٦۳۱۸ نفر در سال به جمعیت ثابت شهر اضافه خواهد شد؛ بنابراین جمعیت شهر مشهد ۳۱۳۵٦۱۸ نفر در نظر گرفته‌شده است. با در دست داشتن سرانه مصرف از یک سو و معادل زمین بوم‌شناختی از سوی دیگر جاپای بوم‌شناختی انرژی ساکنان شهر مشهد به دست می‌آید. با توجه به اینکه سرانه بوم‌شناختی سوخت فسیلی هر ۱۰۰ گیگاژول در یک هکتار برابر با ۱,٤۲ تن دی‌اکسید کربن در سال است (یعنی مقدار زمین بوم‌شناختی بارور مانند جنگل که لازم است تمام دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت فسیلی یک فرد را جذب نماید) این شهر با مصرف بیش از ۳۵ میلیون گیگاژول انرژی در سال برای برطرف ساختن نیاز به سوخت مصرفی در حمل‌ونقل،

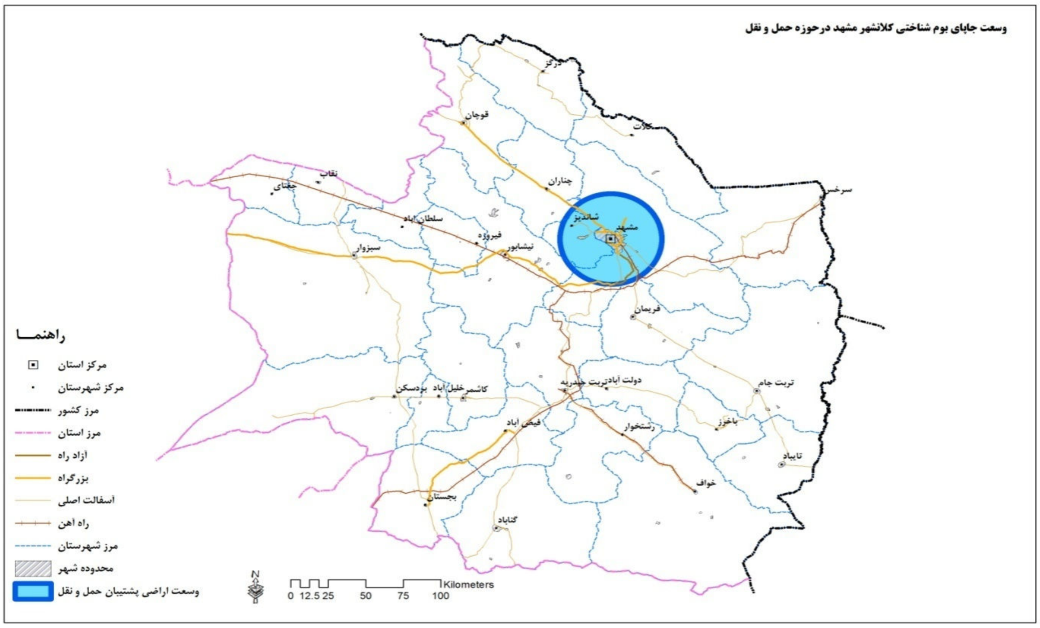
1 Liquefied Petroleum Gas
2 Compressed Natural Gas

رقمی معادل ٤٩٧٥٥٤ تن کربن تولید می‌کند. مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل برای هر شهروند مشهدی ۱۱/۱۷ گیگاژول و معادل سرانه بوم‌شناختی آن به ازای هر ۱۰۰ گیگاژول در یک هکتار ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد است.

در گام بعدی، ارتباط میان مقوله مصرف و زمین مورد نیاز برای آن مورد توجه قرارگرفته است. داده‌های مربوطه جمع‌آوری‌شده در جدول زیر ارائه شده است. این جدول ارتباط مصرف را (ردیف افقی جدول) با استفاده از زمین (ستون عمودی) نشان می‌دهد. با داشتن داده‌های مورد نظر در مورد میزان کاربری اراضی و میزان انرژی مصرفی در حوزه حمل‌ونقل، می‌توان جاپای بوم‌شناختی را نیز به دست آورد. با توجه به این که این مقدار برای هر شهروند در مشهد ۰/۱۱ هکتار است. بدین ترتیب سکنه مشهد ۳۵۹۳٤۱٫۸۲ هکتار زمین برای برطرف نمودن تقاضای خود در حوزه حمل‌ونقل دارند؛ یعنی در حال حاضر (سال ۱۳۹۱) جمعیت ۳۱۳۵٦۱۸ نفری مشهد، از زمین بوم‌شناختی به وسعت ۱۰ برابر این کلان‌شهر، برای مصرف کنونی انرژی در بخش حمل‌ونقل استفاده می‌کنند.

جدول ٤ ماتریس جاپای بوم‌شناختی شهر مشهد در بخش حمل‌ونقل

کاربری	زمین انرژی	زمین کشاورزی	زمین مرتعی	زمین جنگل	زمین ساخته‌شده	زمین دریا	جمع کل
جابه‌جایی و حمل‌ونقل	۰٫۱۱۱۷	۰	۰	۰	۰٫۰۰۲۹۱۷	۰	۰٫۱۱٤٦
حمل‌ونقل زمینی	۰٫۱۰۹۷	۰	۰	۰	۰٫۰۰۲٦۷۵	۰	۰٫۱۱۲۳
شبکه ریلی	۰٫۰۰۰۱۳٦۹	۰	۰	۰	۰٫۰۰۰۰۰٦۰۷	۰	۰٫۰۰۰۱٤۲۹
حمل‌ونقل هوایی	۰٫۰۰۱۸۱۵	۰	۰	۰	۰٫۰۰۰۱۷۹٤	۰	۰٫۰۰۱۹۹٤



شکل ۱ جاپای بوم‌شناختی کلان‌شهر مشهد در حوزه حمل‌ونقل. منبع: استانداری خراسان رضوی، ۱۳۹۰

مطابق نقشه فوق، وسعت اراضی پشتیبان حمل‌ونقل برای شهر مشهد، از شمال تا مرز چناران و از جنوب تا فریمان گسترش پیدا کرده است. لازم به ذکر است که کل مساحت فضای سبز شهر در سال ۱۳۹۱، برابر ۳۱۹۸۰۸۷۵ مترمربع یعنی ۳۱۹۸ هکتار بوده است؛ که سرانه آن برای هر فرد ۱۱٫۳٦ مترمربع است (شهرداری مشهد،۱۳۹۱). اگر مطابق با ضرایب «واحد سطح» در محاسبه جاپای بوم‌شناختی ارزش هر هکتار از فضای سبز درون شهر را معادل ۰/٦ هکتار در نظر بگیریم. ارزش بوم‌شناختی فضای سبز مشهد به میزان ۵۳۳۰ هکتار افزایش پیدا می‌کند که به ازای هر ۱۰۰ گیگاژول در یک هکتار، توان جذب ۵۳۳۰۰۰ گیگاژول انرژی یا ۷۵٦۸ تن کربن را دارد. این مقدار در مقایسه با ۳۵ میلیون گیگاژول انرژی که هرساله تولید می‌شود و معادل ٤۹۷۵۵٤ تن کربن را وارد فضای بوم‌شناختی می‌کند بسیار ناچیز است. روشن است که شهر مشهد از برقراری تعادل بین جاپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی خود در بخش حمل‌ونقل ناتوان بوده و مازاد کربن را به اراضی پشتیبان خود منتقل می‌کند.

جداول زیر مقایسه جاپای بوم‌شناختی ایران و مشهد در حوزه حمل‌ونقل را نشان می‌دهد. تاکنون کل جاپای بوم‌شناختی برای شهر مشهد که شامل (غذا، مسکن، حمل‌ونقل و کالا و خدمات) است محاسبه نشده است. اگرچه جاپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل شهر مشهد از متوسط آن در کل کشور کوچک‌تر است؛ اما بر طبق جدول ٦، ظرفیت زیستی شهر مشهد نیز به میزان ۰/۱۸ هکتار از متوسط آن در ایران کمتر است؛ بنابراین لزوم به‌کارگیری سیاست‌هایی برای کنترل روند رو به رشد مصرف انرژی، به‌ویژه در جابه‌جایی‌های شخصی، ضروری است.

جدول ۵ ماتریس جاپای بوم‌شناختی ایران و مشهد در بخش حمل‌ونقل تلفیق یافته‌های پژوهش با گزارش سیاره زنده (۲۰۱۲)

کاربری	زمین انرژی	زمین ساخته‌شده	زمین جنگل	زمین مرتع	زمین کشاورزی	زمین دریا	ایران	مشهد
جاپای حمل‌ونقل	۰/۵٤	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰/۲۹	۰/۱۱
کل جاپای بوم‌شناختی	۱/۰۸	۰/۰٦	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۵۵	۰/۱۰	۲/٦٦	—

جدول ٦ ماتریس ظرفیت زیستی ایران و مشهد تلفیق یافته‌های پژوهش با گزارش سیاره زنده (۲۰۱۲)

ظرفیت زیستی	زمین ساخته‌شده	زمین جنگل	زمین مرتع	زمین کشاورزی	زمین دریا	کل
ایران	۰/۰٦	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۳٦	۰/۲۸	۰/۸٤
مشهد	۰/۰٦	۰/۰۰۹	۰/۰۷	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/٦٦

۸. نتیجه‌گیری

با محاسبه جاپای بوم‌شناختی در حوزه حمل‌ونقل، مشخص شد که رابطه متعادل و عقلانی بین محیط و منطقه پشتیبان مشهد در این حوزه و ظرفیت زیستی این شهر وجود ندارد. از عوامل مؤثر در بزرگی جاپای

حمل‌ونقل (۱۰ برابر بیش از وسعت شهر) می‌توان به افزایش بی‌رویه تولید خودرو، عدم‌کفایت و بهینگی شبکه معابر، عدم استفاده از انرژی‌های پاک و غیر فسیلی، تمایل روزافزون شهروندان به استفاده از خودرو شخصی، ماهیت زیارتی- سیاحتی شهر مشهد و مصرف مقادیر قابل‌توجه سوخت برای تردد مسافران در سطح شهر اشاره کرد. مصرف انرژی در حوزه حمل‌ونقل، همواره یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر ساختار اکولوژیک شهرها به شمار می‌آید. امروزه رشد شتابنده حمل‌ونقل به یکی از بزرگ‌ترین موانع در برابر رشد پایدار شهری تبدیل شده است؛ بنابراین درک اهمیت محیطی فعالیت‌ها و سیاست‌ها در حمل‌ونقل ممکن است قادر به جلوگیری از فشارهای محیطی حاصل از رشد شهرها باشد. در این مقاله با استفاده از روش جاپای بوم‌شناختی به ارزیابی و تعیین فضای اکولوژیک مورد نیاز در حوزه حمل‌ونقل و جابه‌جایی دورن شهری در شهر مشهد پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل برای هر شهروند مشهدی ۱۱/۱۷ گیگاژول و معادل سرانه بوم‌شناختی آن به ازای هر ۱۰۰ گیگاژول در یک هکتار ۰/۱۱ هکتار برای هر فرد است. بدین ترتیب سکنه مشهد ۳۵۹۳٤۲ هکتار زمین برای برطرف نمودن تقاضای خود در حوزه حمل‌ونقل نیاز دارند. این ارقام نشان می‌دهد که استفاده روزافزون از خودرو نه‌تنها عامل ۷۰ درصد آلودگی هوای مشهد است، بلکه جاپای بوم‌شناختی وسیعی به لحاظ مصرف سوخت و جذب آلاینده‌ها ایجاد کرده که بسیار بیش از ظرفیت زیستی این شهر است. برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار، بهبود فضای سرمایه‌گذاری در بخش انرژی و توسعه زیرساخت‌های انرژی، بهبود راندمان انرژی و صرفه‌جویی انرژی و تنوع منابع انرژی از ضروریات محسوب می‌شود. در این میان اعمال سیاست‌هایی چون استفاده بیشتر از حمل‌ونقل عمومی، منطقی کردن قیمت فراورده‌های نفتی و نیز مالیات بر مصرف سوخت می‌تواند تا حدی هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی حمل‌ونقل را کاهش دهد؛ اما بررسی سناریوهای مختلف برای یافتن بهترین و مؤثرترین راه کاهش جاپای بوم‌شناختی در ادبیات برنامه‌ریزی شهری پایدار بسیار ضروری است. شهر مشهد با ادامه روند کنونی مصرف در حوزه حمل‌ونقل در آینده بیش‌ازپیش به محیط و منطقه پشتیبانش وابسته خواهد بود.

کتابنامه

بانک جهانی؛ ۲۰۰۲. شهرهای در حرکت مروری بر استراتژی حمل‌ونقل شهری. ترجمه: حمید قاسمی هنری. هادی شاهی و سمیرا بهرام زاده. نیکو نشر.

سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد؛ ۱۳۸٤. دومین آمارنامه حمل‌ونقل شهر مشهد. پاییز.

سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد؛ ۱۳۹۱. هشتمین آمارنامه حمل‌ونقل شهر مشهد. پاییز.

سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد. بهنگام سازی مطالعات جامع حمل‌ونقل مشهد، ساخت، پرداخت و اعتبار سنجی مدل‌های برآورد میزان مالکیت خودرو بر اساس سال پایه اردیبهشت ۱۳۸۹.

ساسان پور، فرزانه؛ ۱۳۹۰. مبانی پایداری توسعه کلان‌شهرها با تأکید بر کلان‌شهر تهران. ناشر: مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران.

فروزنده، کاظم؛ ۱۳۸۵. مقایسه آلودگی زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت در دو بخش حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی. راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران. مرکز تحقیقات. گروه مطالعات اقتصادی.

موتین، کلیف؛ ۲۰۰۵. ابعاد سبز طراحی شهری. ترجمه: کاوه مهربانی. انتشارات پردازش و برنامه‌ریزی شهری (وابسته به شهرداری تهران)۱۳۸٦.

Barret, J.,Scott, A.,Vallack, H., 2001. The Ecological Footprint of Passenger Transport in Merseyside. Stockholm Environment Institute – York. p7.

Brown, D; O'Regan, B. and Moles, R. (2008). Use of ecological footprinting to explore alternative transport policy scenarios in an Irish city-region. *Transport Research part D*.13: pp 315-322.

Chambers, N., and Kevin L., 2001. .Ecological Footprint Analysis: towards a sustainability indicator for Business. London. p15.

Frozandeh,K.,2006.The Comparing of environmental Pollution Resulted from Fossil Flues in Road and Railway Transportations.

Guangqing C., and Stone, B., 2011. Sustainable Transport Planning: Estimating The Ecological Footprint Vehicle in Future Years. Journal Of Urban Planning And Development. Vol. 31, No. 3, pp 170-180.

Gudmundsson, H., Hojer, M., 1996. Sustainable development principles and their implications for transport. Ecological Economics 19, pp 269–282.

Meadows, d., Randers, J., 1992. Boyond the Limits. Chelsea Green Publishing co, Post Mills. Vermont, USA.

Moughtin, C,. 2005. Green Dimensions of Urban Design. Translation: mehrabani, k Processing and urban planning publisher, affiliated to Tehran municipal, pp79-81.

Municipality of Mashhad., 2012. A Handbook Statistics of Mashhad 2011 -Assistance Planning and Development.

Odum, H.T., 1994. Ecological and General Systems, revised edition. University of Colorado Press. Bulder.

Organization for Economic Cooperation and Development., 2004. Environmentally Sustainable Transport. OECD, Paris.

Organization of transport and traffic of Mashhad municipality., 2005. the second Handbook Statistics of Transportation in Mashhad.

Organization of transport and traffic of Mashhad municipality., 2011. the eighth Handbook Statistics of Transportation in Mashhad.

Organization of Transportation and Traffic of Mashhad Municipality., 2010. Mashhad updated comprehensive studies of transportation, construction, and validation of models to estimate payments based on the level of car ownership.

Royal Commission on Environmental Pollution., 1997. Twentieth Report, Transport and Environment Development. Since 1994,Cm.3752,London: Stationary Office.

Sasanpour, F., 2011. Principles of Sustainable Development of Metropolitan with Emphasis on Tehran Metropolis, Publisher: Center for the Study and Planning of Tehran.

The World Bank., 2002. Cities on the Move, A Word Bank Urban Transport Strategy Review Translating: Honary Ghassemi, H.,Bahramzadeh, s.,shahi,H., Nico Publishing, 2011.

Wackernagel, M., Rees, W.E., 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable – and why they are the key to sustainability. Environmental Impact Assessment Review 16, pp 223–248.

Wackernagele, M., 2003 .owards a sustainable London: Reducing the Capital Ecological Footprint, WSP Environmental Ltd natural strategies LIS, London.

Whittaker,R. H., 1975. Communities and Ecosystems, MacMillan Publishing NewYork.

Wilson, J., 2005. Ecological Footprints of Canadian Municipalities and Regions. The Canadian Federation of Canadian Municipalities.p8.

WWF International., 2012. Living Planet Report, Biodiversity, Biocapasity and Better Choices. P38.